

STEREOACOUSTISCHE GELUIDSBEELDEN
EN KLEINST WAARNEEMBARE TIJDSVER-
SCHILLEN

DOOR

J. L. VAN SOEST EN P. D. GROOT



*Overgedrukt uit „Physica”, Nederlandsch Tijdschrift voor Natuurkunde,
9e Jaargang, blz. 111—114 (1929)*

STEREOACOUSTISCHE GELUIDSBEELDEN EN KLEINST WAARNEEMBARE TIJDSVERSCHILLEN

door J. L. VAN SOEST en P. D. GROOT

Zusammenfassung.

Die von v. Hornbostel und Wertheimer angegebene minimale Zeitdifferenzschwelle beim stereoakustischen Hören kann sehr leicht überschritten werden; die Schwelle ist offenbar ganz von der Uebung abhängig und hat daher kaum Bedeutung. Zeitdifferenzen bis 10^{-6} Sek. sind in geeigneten Experimenten beobachtbar.

Richtingsgewaarwording. Het waarnemen van de richting, van waaruit een geluidsimpuls of een geluidstrilling komt, is een psychisch effect, waarvan men geen bewuste gewaarwording heeft. Met groote nauwkeurigheid kan men het hoofd naar de goede richting keeren, zonder dat men zich bewust is, waarom en hoe men die richting vindt. De gewaarwording zelf kan men zich eerst na zeer zorgvuldige oefening eigen maken; met kunstmatige middelen gelukt dit gemakkelijker.

Geluidsbeeld. Het volgende voorbeeld van het kunstmatig opwekken van een richtingsgewaarwording toont tevens aan dat men zich ook tot een richtingsbepaling kan laten verleiden, daar waar er geen eigenlijke richting bestaat. Stel dat men de beide geluidgevers van een hoofdtelefoon tegen de ooren houdt en daarop de eene langzaam van het oor af laat bewegen, dan kan men het in de telefoon voortgebrachte geluid zich schijnbaar *in* het hoofd hooren bewegen naar het andere oor. Beweeft men de beide geluidgevers om beurten, zoo kan men het geluid zich schijnbaar door het hoofd heen van het eene naar het andere oor toe hooren bewegen. Men verkrijgt daarbij den indruk van een *geluidsbeeld*. Is dit beeld in het mediane vlak van het hoofd, dan is er symmetrie en dan zijn de beide (gelijke) geluidgevers even ver van de (gelijk veronderstelde) ooren verwijderd. Dit bewegende geluidsbeeld geeft door zijn stand een richtingsgewaarwording.

Een ander voorbeeld verkrijgt men door de einden van een kaoutsjoukslang tegen de ooren te drukken en op de slang tikjes met een mes in de nabijheid van het midden te geven. De impulsen planten zich door de lucht in de slang naar de ooren voort; beweegt men het mes, al tikkende, zoo hoort men ook hier het beeld zich duidelijk van het eene oor naar het andere begeven. Hoort men het beeld juist in het midden van het hoofd, zoo zal het mes op het

midden van de slang tikken, afgezien dan van de onnauwkeurigheden, die men bij deze bepaling mag verwachten. Heeft men zich eenmaal met dergelijke kunstmatige middelen geoefend, zoo leert men ook zonder dat de gewaarwording van een geluidsbeeld herkennen, die ons in staat stelt het hoofd in de gewenschte richting te brengen, d.w.z. in dié richting, waarbij het geluidsbeeld in het mediane vlak van het hoofd gelegen is.

Theorie. Verschillende theorieën zijn uitgesproken om deze richtingsgewaarwording fysisch te „verklaren”. Men vindt ze alle beschreven in het Handbuch der Physik van H. Geiger en K. Scheel, deel VIII, in het door E. Meyer bewerkte 11de hoofdstuk bld. 538. In 1920 werd o.m. een tijdsverschillentheorie gepubliceerd door v. Hornbostel en Wertheimer; voor de verklaring van het richtingshooren naar impulsen is zij goed bruikbaar, doordat zij het verschil in aankomsttijden der impulsen voor linker- en rechteroor als primaire oorzaak der richtingsgewaarwording noemt. Door een van ons zal elders een experiment worden beschreven, dat een grondslag kan vormen voor toetsing der verschillende theorieën. In dit stuk wilden wij in het bijzonder de aandacht vestigen op de buitengewone gevoeligheid van het gehoororgaan voor deze tijdsverschillen.

Proefneming. De proefneming is buitengewoon eenvoudig; de apparatuur bestaat uit een ronde messingstaaf aan de beide einden verbonden aan kaoutsjoukslangen van gelijke lengte, wier andere einden op geschikte wijze worden bevestigd aan de ooren van den waarnemer, die zelf den staaf niet mag zien. Een helper beweegt, al tikjes gevende, een mes langs den staaf, waarbij de waarnemer den acoustischen middenstand moet zoeken. De helper volgt diens bevelen: „naar links”, „naar rechts” op, totdat „halt” en daarna „stop” wordt gezegd, waarbij met voortbewegen en daarna met tikken van het mes wordt opgehouden. De stand van het mes wordt daarbij in millimeters van het midden van den staaf af en met $\pm$ teeken genoteerd en men gaat zoo voort, totdat een waarschijnlijke fout per waarneming vastgesteld kan worden. Het behoeft niet gezegd te worden dat men, om nauwkeurige metingen te willen verrichten, velerlei voorzorgen moet nemen, b.v. dat de kaoutsjoukslang niet gedurende de proef mag rekken, dat de bevestiging aan de ooren zeer zorgvuldig dient te geschieden, dat de waarnemer in het geheel niet mag worden afgeleid en in geheel onvermoeiden toestand moet verkeerden, enz. Deze voor-

zorgen zijn door ons met de grootst mogelijke nauwgezetheid in acht genomen, ten einde te kunnen nagaan tot hoe fijne richtingsbepaling het gehoororgaan in staat kan zijn.

Resultaat. Men zou kunnen verwachten dat de waarschijnlijke fout per waarneming bij zulk soort proeven desniettemin tamelijk groot is. De voorplantingssnelheid van een impuls in de messing-staaf is van de orde van drieduizend meters per seconde; 1 decimeter wegverschil tusschen de impulswegen naar linker- en rechteroor komt zodoende overeen met een dertigduizendste seconde tijdsverschil, wat al gering toeschijnt.

Maar onze proeven hebben uitgewezen dat de nauwkeurigheid bij zorgvuldige proefneming véél grooter is en dat men hier tot tijdsverschillen van één miljoenste seconde kan komen.

In de hier volgende tabel vindt men de laatste door ons verrichtte serie waarnemingen.

Waarnemer	Gr.	v.S.	Gr.	v.S.	Gr.	v.S.	Gr.	v.S.
Waarneming	+ 3	— 20	+ 1	— 13	+ 3	— 14	— 5	— 24
buiten het	+ 4	— 23	+ 4	— 25	— 1	— 29	— 4	— 24
midden in mm.	+ 10	— 16	+ 3	— 18	+ 3	— 20	— 2	— 26
+ rechts	+ 3	— 22	+ 3	— 22	— 3	— 20	— 1	— 25
— links	— 2	— 22	+ 23	— 22	— 4	— 6	— 1	— 20
	+ 1	— 25	— 2	— 28	— 3	— 23	0	— 35
	0	— 32	+ 9	— 25	+ 8	— 25	— 1	— 31
	— 8	— 25	+ 1	— 26	+ 5	— 28	— 4	— 28
	+ 2	— 41	+ 16	— 22	+ 10	— 17	+ 3	— 18
	+ 8	— 21	+ 5	— 23	+ 7	— 27	— 2	— 17
Gemiddelde	+ 2,1	— 24,7	+ 6,3	— 22,4	+ 2,5	— 20,9	— 1,7	— 24,8

Waarschijnlijke
fout per waar-
neming

in 10^{-6} sec.

2,11 2,96 3,24 1,81 2,12 3,00 0,97 2,37

De waarnemingen van ons beide liggen gemiddeld 25,5 mm uiteen; dit wijst er op dat er individuele verschillen optreden ten gevolge b.v. van ongelijkheid in impulsverwerking aan de beide ooren van het gehoororgaan. Waarvoor onze meting echter geschiedde, was het bepalen van de waarschijnlijke fouten per waarneming; zij zijn door ons voor elke serie afzonderlijk bepaald en in de bovenstaande tabel ineens in seconden tijdverschil uitgedrukt, waarbij de snelheid in het messing op 3200 m./sec. is aangenomen.

Uit de tabel ziet men dat deze waarschijnlijke fouten varieeren van drie tot één miljoenste seconde.

Ook de waarschijnlijke fout per waarneming voor de series te-

zamen is uitgerekend: voor Gr. bedraagt zij $2,4 \cdot 10^{-6}$ secunde, voor v. S. $2,5 \cdot 10^{-6}$ sec.

Deze uitkomsten zijn veel lager dan die welke v. Hornbostel en Wertheimer als „drempelwaarde” noemen: ongeveer het dertigduizendste deel van een secunde, hetgeen ongeveer dertig maal zoo hoog is als bij onze gunstigste serie. Niet alleen kunnen wij bij deze zorgvuldige proeven belangrijk blijven beneden deze drempelwaarde, die o.i. geen reële beteekenis heeft, maar ook zonder speciale voorzorgen tegen vermoeiing, afleiding, e.d. komen wij nooit boven het honderdduizendste deel van een secunde.

Proeven zonder kunstmatige hulpmiddelen. Men zou nog kunnen aanvoeren dat de drempelwaarde, door v. Hornbostel en Wertheimer ingevoerd, alleen voor luisteren zonder kunstmatige hulpmiddelen geldt, doch in de eerste plaats maakten zij bij hun proeven er eveneens van gebruik (twee telefonen) en in de tweede plaats kan men een soortgelijk experiment ook in de vrije ruimte herhalen.

De waarnemer houdt het hoofd zeer strak in een bepaalde richting; op eenige meters afstand beweegt de helper een tegen een klein metalen voorwerp tikkend hamertje, totdat de waarnemer weer den acoustischen middenstand van deze impulsbron heeft bepaald. Men kan narekenen dat het wegverschil voor linker- en rechteroor met groote benadering gegeven wordt door: $px : s$, waarin p de afstand der ooren, x de waargenomen afwijking uit den werkelijken middenstand en s de afstand van den waarnemer tot de impulsbron is; dit onder voorwaarde, dat s groot is ten opzichte van de beide andere grootheden.

Voor een waarneming van Gr., waarbij s ongeveer 900 cm. en p ongeveer 20 cm. was, werd (zonder dat men de volgorde in acht neme) geconstateerd: $x = -6\frac{1}{2}, +3\frac{1}{2}, +8, +14, +17$, waaruit een tijdsverschil van ongeveer $4 \cdot 10^{-6}$ secunde waarschijnlijke fout per waarneming volgt. En voor v.S. met dezelfde waarden voor s en p bleek $x = -2, -2, +4, +8, +8$, waaruit een tijdsverschil volgt van $2 \cdot 10^{-6}$ sec.

Ook deze waarnemingen komen dus ver beneden de genoemde drempelwaarde.

Deze proeven toonen duidelijk aan, welk een buitengewoon gevoelig apparaat het gehoororgaan is.

Januari 1929.